



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 195 20 401 C 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 S 3/04**  
F 28 D 1/053  
F 28 F 13/08  
H 01 S 3/041

②① Aktenzeichen: 195 20 401.8-33  
②② Anmeldetag: 8. 6. 95  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 1. 8. 96

**DE 195 20 401 C 1**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③⑩ Innere Priorität: ③② ③③ ③①  
30.03.95 DE 295053372

⑦③ Patentinhaber:  
Taufenbach, Norbert, Dipl.-Ing., 21493 Basthorst, DE

⑦② Erfinder:  
gleich Patentinhaber

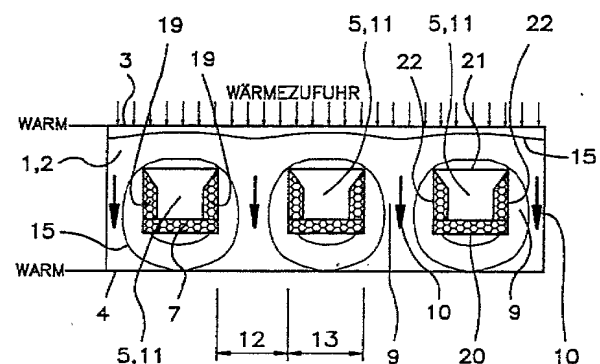
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 42 32 843 A1  
DE 92 17 640 U1  
EP 5 85 482 A1  
EP 4 77 864 A1

⑤④ **Wärmetauscher für Laser**

⑤⑦ Wärme abführende Bauteile im Pump- oder Resonatorbereich von Leistungs-Lasern, die sich aufgrund einseitiger Wärmezufuhr und innerer Kühlung (5) deformieren. Die Aufgabe wird gelöst, indem dafür gesorgt wird, daß die Temperaturverteilung bezogen auf die neutrale Faser des betreffenden Bauteils (1 oder 2) symmetrisch ist. Die Summe aller Biegemomente ist dann im Idealfall gleich Null. Dieses wird erreicht, indem der Wärmeübergang innerhalb des Bauteils (1 oder 2) an das Kühlmedium (5) einseitig, durch gezieltes Einbringen von Isolierschichten (7 oder 19) vermindert wird und/oder indem der Wärmefluß (10) über die Stege (9) durch den Einsatz von Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit sowie durch Medien in speziellen Hohlräumen, die die Wärme von der warmen (3) zur bisher kalten Seite (4) des Bauteils (1 oder 2) transportieren, verbessert wird.

Einsatzmöglichkeiten sind großflächige Elektroden für Stab- oder Bandleiterlaser und Resonatorspiegel für alle Laser in höheren Leistungsklassen.



**DE 195 20 401 C 1**

Die Erfindung wird am Beispiel eines Slab- oder Bandleiterlasers mit zueinander parallelen innengekühlten Elektroden, die zwischen ihren einander zugewandten Flachseiten einen Entladungsraum bilden, in dem sich ein zu pumpendes Gas befindet, erläutert.

Slab- oder Bandleiterlaser sind beispielsweise aus der EP 585 482 A1, der EP 477 864 A1 oder der DE 92 17 640 U1 bekannt. Bei diesen Lasern wird zwischen zueinander parallelen plattenförmigen Elektroden ein schmaler Entladungsraum für ein Gas, insbesondere Kohlendioxyd, gebildet, das durch eine an die Elektroden angelegte Hochfrequenzspannung angeregt wird. Die Elektroden sind mit Kanälen für ein Kühlmedium versehen. An den Stirnseiten des durch die Elektroden gebildeten schmalen Entladungsraumes sind zum Erzielen einer Laserwirkung Resonatorspiegel angeordnet.

Bei diesen bekannten Gaslasern wird die beim Pumpen und aufgrund der Laserwirkung auftretende Wärme über die plattenförmigen Elektroden abgeführt, so daß kein kompliziertes Gaszirkulationssystem mehr notwendig ist. Dies ist möglich, da die Elektroden verhältnismäßig großflächig sind und ihr gegenseitiger Abstand, der typischerweise wenige Millimeter beträgt, verhältnismäßig gering ist. Dadurch ist das zwischen den Elektroden eingeschlossene Gasvolumen in Relation zur Kühlfläche ebenfalls verhältnismäßig klein.

Die mit Slab- oder Bandleiterlasern erzielbare Laser- ausgangsleistung hängt von der Fläche der Elektroden ab, wobei pro Quadratzentimeter Elektrodenfläche etwa 1,5 W bis 2,0 W erzeugt werden können. Um hohe Ausgangsleistungen erzielen zu können, sind großflächige Elektroden erforderlich, die jedoch aufgrund ihrer einseitigen Wärmezufuhr nicht mehr in ausreichendem Maße parallel zueinander gehalten werden können. Da die innenliegenden, d. h. die zum Gas bzw. Entladungsraum gerichteten Flachseiten erwärmt und die außenliegenden Flachseiten gekühlt werden, bewirkt der Temperaturgradient zwischen den gegenüberliegenden Flachseiten einer Elektrode, daß sich die Flachseiten einer Elektrode unterschiedlich thermisch ausdehnen. Dadurch entstehen Biegemomente, die bewirken, daß die Elektroden an ihren Enden einen größeren Abstand voneinander aufweisen als in der Mitte. Die dadurch verursachte Verzerrung des Resonators verschlechtert das Laserverhalten, d. h. dessen Modenstabilität und -reinheit. Da die Durchbiegung mit wachsender Länge der Elektroden zunimmt, lassen sich mit den bekannten Lasern nur Laserausgangsleistungen von einigen 100 W erreichen, da die thermische Biegung die Größe der Elektrodenflächen begrenzt.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, Elektroden für einen Slab- oder Bandleiterlaser anzugeben, mit denen ohne großen konstruktiven Aufwand eine höhere Ausgangsleistung erreicht werden kann.

Die genannte Aufgabe wird gelöst, indem dafür gesorgt wird, daß die gegenüberliegenden Flachseiten 3 und 4 einer Elektrode 1 eine möglichst gleiche Oberflächentemperatur aufweisen. Dieses wird erreicht, indem der Wärmeübergang vom einseitig erwärmten Elektrodenkörper 1 an das Kühlmedium 5 einseitig, und zwar auf der vom Entladungsraum 6 außenliegenden Wand 20 des Kühlkanals oder der Kühlkanäle 11 durch geeignete Maßnahmen, wie zum Beispiel durch gezieltes Einbringen von Isolierschichten 7, vermindert wird und/oder daß der Wärmeübergang vom einseitig erwärmten Elektrodenkörper 1 an das Kühlmedium 5 einseitig, und

zwar auf der vom Entladungsraum 6 zugewandten Wand 21 des Kühlkanals oder der Kühlkanäle 11 der Elektrode 1 durch geeignete Maßnahmen, wie zum Beispiel durch die Oberfläche vergrößernde Maßnahmen 8 oder 16, verbessert wird und/oder daß der Wärmeübergang von den Stegen 9 an das Kühlmedium 5 durch geeignete Maßnahmen, wie zum Beispiel durch gezieltes Einbringen von Isolierschichten 19, vermindert wird. Die Stege 9 sind Materialbrücken, die die beiden Flachseiten 3 und 4 der Elektrode 1 miteinander verbinden.

Eine weitere Maßnahme, um einen Temperaturausgleich zwischen den beiden Flachseiten 3 und 4 einer Elektrode 1 zu realisieren, ist eine Erhöhung des Wärmeflusses 10 über die Stege 9 einer Elektrode 1. Dieses kann erreicht werden, indem für die Stege 9 Materialien verwendet werden, die gegenüber dem Grundwerkstoff einer Elektrode 1 eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen und/oder, indem die Stege 9 Hohlräume oder Kapillare haben, in denen sich ein Medium oder ein Dampf befindet, welches oder welcher durch freie Konvektionsströmung und/oder durch Kapillarwirkung sowie durch Phasenübergänge an den Wänden der Hohlräume oder Kapillare, Wärme oder latente Wärme von der einen zu der anderen Seite der Elektrode 1 transportiert.

Alle genannten Maßnahmen bewirken, daß der Wärmefluß 10 von der wärmeren Innenfläche 3 zur bisher kälteren Außenfläche 4 der Elektrode 1, über die Stege 9 zwischen den Kühlkanälen 11 auch die Außenfläche 4 der Elektrode 1 aufheizt und dadurch den für die Verbiegung verantwortlichen Temperaturgradienten der Flachseiten 3 und 4 zueinander verringert.

Der zur Wärmeabfuhr nötige Temperaturgradient innerhalb einer Elektrode 1 und die damit verbundenen Spannungen bewirken hier im Idealfall keine Verbiegungen, wenn durch die vorher beschriebenen Maßnahmen und durch die Lage der Kühlkanäle 11 innerhalb einer Elektrode 1 dafür gesorgt wird, daß die Temperaturverteilung, bezogen auf die neutrale Faser einer Elektrode 1, annähernd symmetrisch ist. Die Summe aller Biegemomente ist dann im Idealfall gleich Null.

Das bedeutet für die Praxis, daß die Wirksamkeit der Erfindung im wesentlichen abhängig ist vom Verhältnis der Stegbreite 12 zur Kühlkanalbreite 13, der Lage der Kühlkanäle 11 zwischen den beschriebenen Flachseiten 3 und 4, Position und Güte der Isolierschicht 7 und/oder 19, sowie von der Form und der Werkstoffwahl des Elektrodenkörpers 1 abhängt. Als Grundwerkstoff für den Elektrodenkörper 1 eignen sich Werkstoffe mit guten Wärmeleiteigenschaften wie Kupfer- oder Aluminiumlegierungen.

Um alle Parameter für die Auslegung von Elektroden 1 zu berücksichtigen, sind komplexe Berechnungen notwendig, die den Einsatz von Computersimulationsprogrammen zweckmäßig erscheinen lassen.

Die Resonatorspiegel 2 eines Lasers sind eine weitere Einsatzmöglichkeit der Erfindung, da sie in höheren Leistungsklassen innengekühlt ausgeführt werden.

Ein bekanntes Problem ist hier die Absorption eines Teils des Laserlichtes an der Spiegeloberfläche 14, welches zur einseitigen Aufheizung und somit zur Deformierung des Spiegels 2 führt. Auch dieses führt zu einer Verzerrung des Resonators und verschlechtert das Laserverhalten. Da die Durchbiegung mit wachsender Länge des Spiegels 2 zunimmt, sind hiervon besonders Resonatorspiegel 2 für Slab- oder Bandleiterlaser betroffen, die, bedingt durch die räumlich Abmessungen des Entladungsraumes 6, schmal und länglich ausgeführt

sind. Besondere Probleme bereiten hierbei Leistungsänderungen während des Betriebes eines Lasers, weil Geometrieänderungen des Resonators nicht so schnell nachjustiert werden können.

Mit innengekühlten Elektroden 1 und Resonatorspiegeln 2 gemäß Fig. 1 können wesentlich höhere Ausgangsleistungen als mit bisher bekannten Lasern der gleichen Art erreicht werden, da größere Elektroden- und Spiegelflächen möglich sind, die zueinander ausreichend genau parallel gehalten werden können. Zudem reagiert ein solcher Laser wesentlich stabiler auf Leistungsänderungen.

Fig. 2 zeigt die Wirkung der beschriebenen Isolierschichten 7 und 19 an den Wänden 20 und/oder 22 der Kühlkanäle 11 und prinzipiell den Verlauf der Isothermen 15 in einem Wärmetauscher 1 oder 2. Der Wärme- fluß 10 über die Stege 9 zur Rückseite 4 des Wärmetauschers 1 oder 2 ist durch große Pfeile gekennzeichnet.

Fig. 3 zeigt prinzipiell den Verlauf der Isothermen 15 und die daraus resultierende Deformierung bei einem konventionellen Wärmetauscher. Es wird deutlich, wie der Wärme fluß über die Stege, durch Wärmeabfuhr an die Kühlkanäle, blockiert wird.

Fig. 4 bis 11 zeigen Beispiele möglicher Varianten zur Gestaltung des Kühlkanals oder der Kühlkanäle 11. Die Gestaltung des Kühlkanals nach Fig. 5 und 11 ermöglicht auch den Einsatz einer Vakuumisolierung.

#### Patentansprüche

1. Wärmetauscher für Wärme abführende Bauteile im Pump- und/oder Resonatorbereich von Leistungs-Lasern, die sich durch thermische Spannungen infolge einseitiger Wärmezufuhr deformieren, nämlich

a) Elektroden (1) für Slab- oder Bandleiterlaser mit zueinander parallelen innengekühlten Elektroden, die zwischen ihren einander zugewandten Flachseiten (3) einen Entladungsraum (6) bilden, in dem sich ein zu pumpendes Gas befindet oder

b) innengekühlte Resonatorspiegel (2) für Gas- oder Festkörperlaser, wobei die betreffenden Bauteile (1; 2) einen Kanal oder Kanäle (11) enthalten, in denen sich ein zur Wärmeabfuhr strömendes Kühlmedium (5) befindet, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmeübergang vom betreffenden Bauteil (1; 2) an das Kühlmedium (5) einseitig an der von der Wärmezufuhr abgewandten Rückwand (20) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) im Verhältnis zu der ihr gegenüberliegenden Vorderwand (21) vermindert wird.

2. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin der Wärmeübergang vom betreffenden Bauteil (1; 2) an das Kühlmedium (5), an den Seitenwänden (22) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11), welche Stege oder Materialbrücken (9) zwischen der Wärmezufuhr zugewandten Seite (3) und der Wärmezufuhr abgewandten Seite (4) des betreffenden Bauteils (1; 2) bilden, vermindert wird.

3. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin der Wärmeübergang vom betreffenden Bauteil (1; 2) an das Kühlmedium (5) einseitig an der der Wärmezufuhr zugewandten Vorderwand (21) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) im Verhältnis zu der ihr

gegenüberliegenden Rückwand (20) erhöht wird.

4. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der verminderte Wärmeübergang durch Isolierschichten (7; 19) an den Rückwänden (20) und/oder Seitenwänden (22) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) durch Verwendung von Materialien realisiert wird, die eine geringere Wärmeleitung aufweisen als der Grundwerkstoff des zu kühlenden Bauteils (1; 2).

5. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der verminderte Wärmeübergang an den Rückwänden (20) und/oder Seitenwänden (22) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) durch Verändern der Oberflächeneigenschaften auf chemischen, physikalischen oder elektrochemischen Weg, insbesondere durch Anodisieren von Aluminiumwerkstoffen, Polieren der Oberfläche oder Auftragen von Nanopartikeln, erzielt wird.

6. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der verminderte Wärmeübergang an den Rückwänden (20) und/oder Seitenwänden (22) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) durch Einsatz von Vakuumisolierschichten realisiert wird.

7. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlkanal oder die Kühlkanäle (11) an der der Wärmezufuhr zugewandten Vorderwand (21) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) eine möglichst große Oberfläche aufweisen, was durch Rillen oder Wellen (8) in der Oberfläche erzielt wird.

8. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß von der Wärmezufuhr zugewandten Vorderwand (21) und/oder vom vorderen Teil der unmittelbar angrenzenden Seitenwände (22) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) Rippen oder beliebig geformte Strukturen (16) in den Kühlkanal (11) hineinreichen.

9. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) durch Verundungen (17), Fasen (18) oder Facetten zwischen der von der Wärmezufuhr abgewandten Rückwand (20) und den unmittelbar angrenzenden Seitenwänden (22) des Kühlkanals oder der Kühlkanäle (11) verkleinert wird.

10. Wärmetauscher für Laser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin der Wärme fluß (10) über Stege (9) von der Wärmezufuhr zugewandten Seite (3) zu der Wärmezufuhr abgewandten Seite (4) des betreffenden Bauteils (1; 2) verbessert wird.

11. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Stege (9) oder ein Teil der Stege (9) aus Materialien bestehen, die eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als der Grundwerkstoff des betreffenden Bauteils (1; 2).

12. Wärmetauscher für Laser nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Stege (9) oder ein Teil der Stege (9) Hohlräume oder Kapillare haben, in denen sich ein Medium oder ein Dampf befindet, welches oder welcher durch freie Konvektionsströmung und/oder durch Kapillarkirkung sowie durch Phasenübergänge an den Wänden der Hohlräume oder Kapillare, Wärme oder latente Wärme von der Wärmezufuhr zugewandten Seite (3) zu der Wärmezufuhr abgewandten Seite (4) des

betreffenden Bauteils (1; 2) transportiert.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig.1

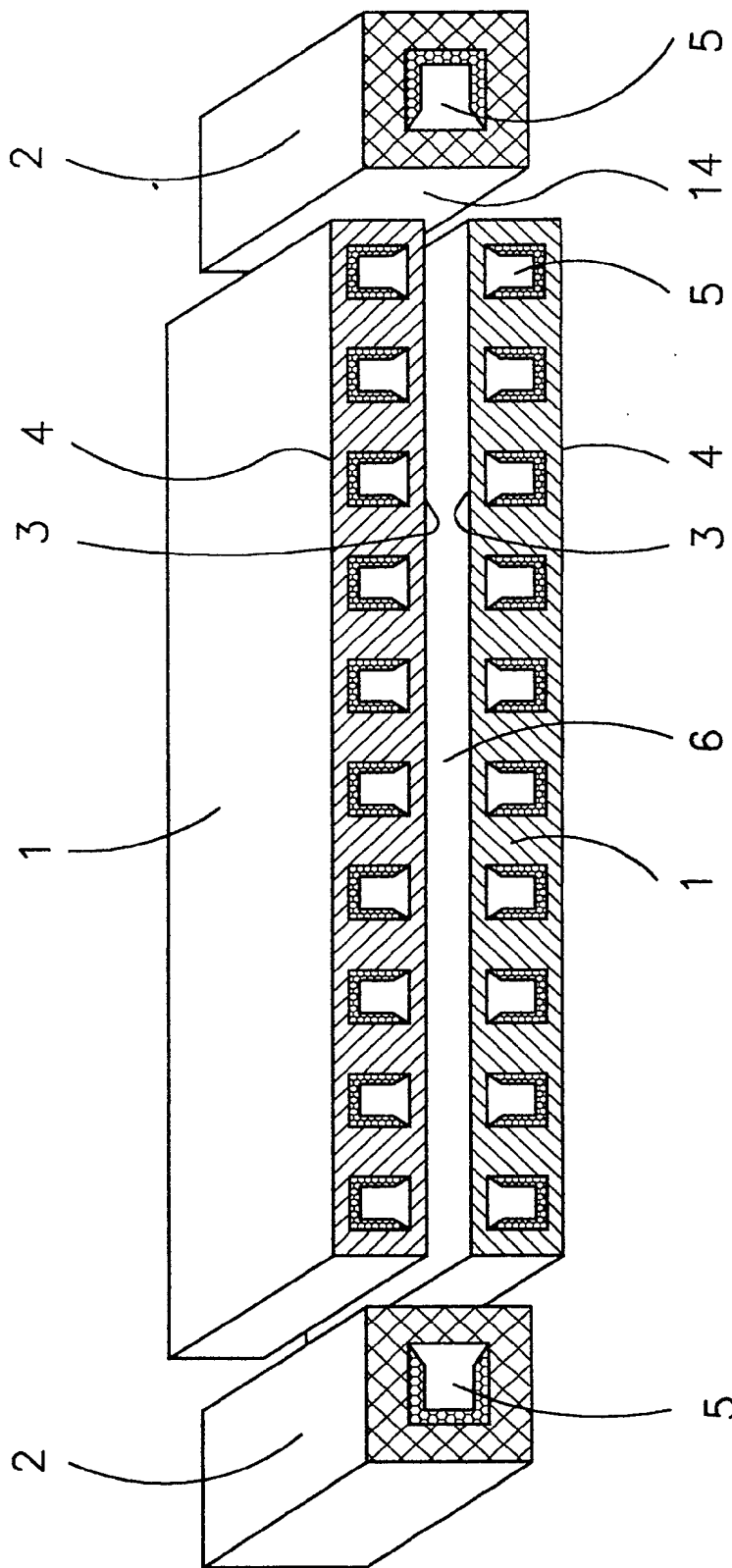


Fig.2

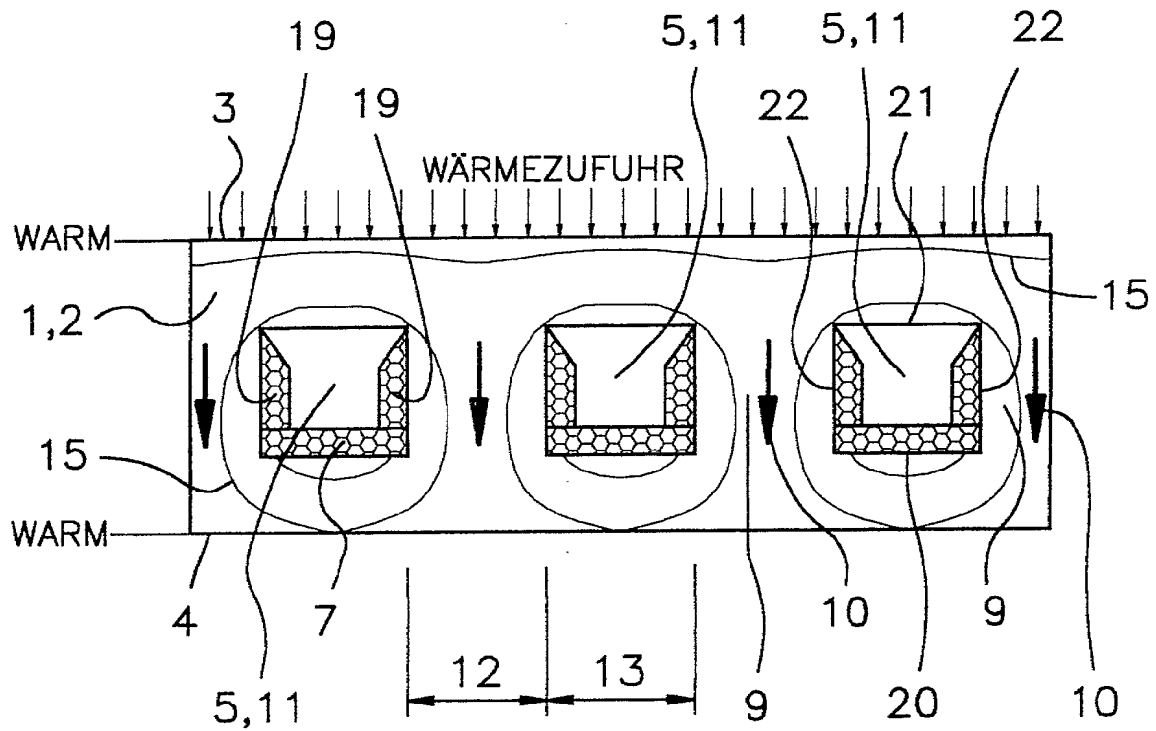


Fig.3

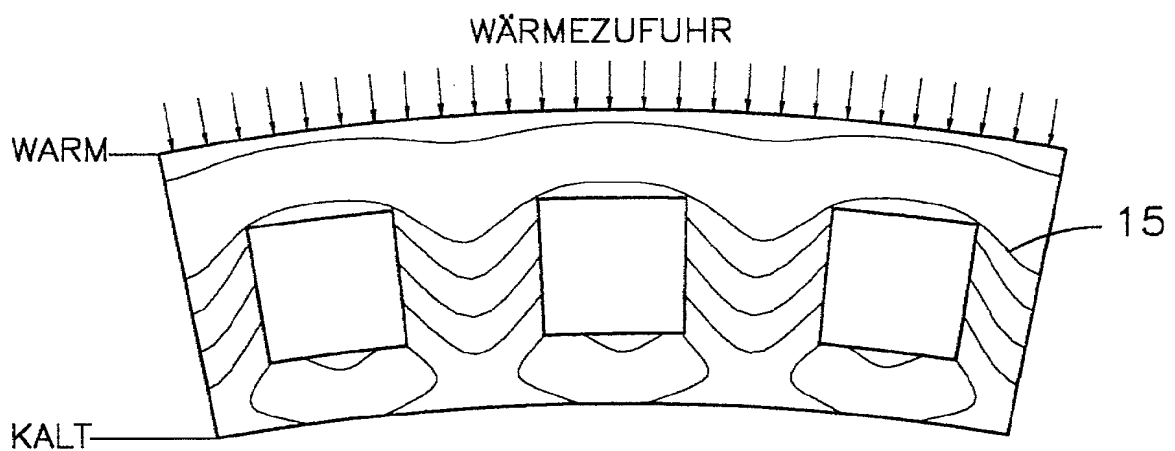


Fig.4

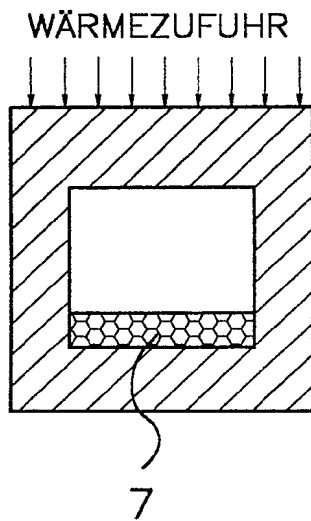


Fig.5

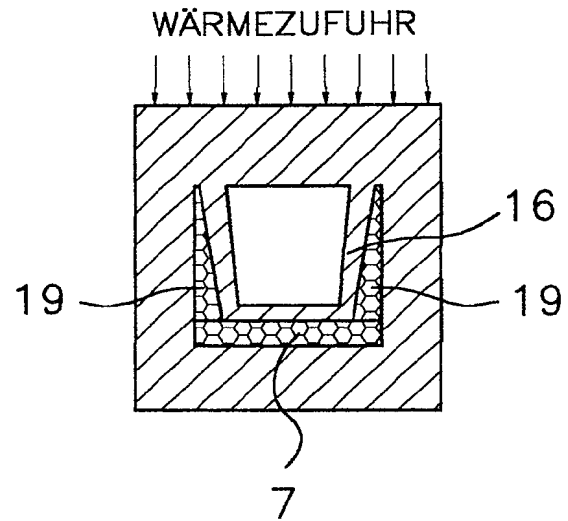


Fig.6

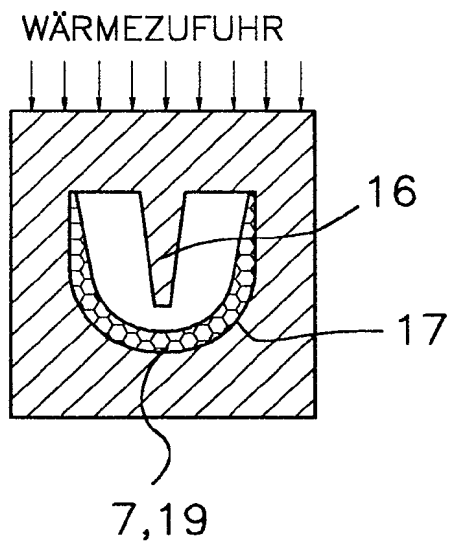


Fig.7

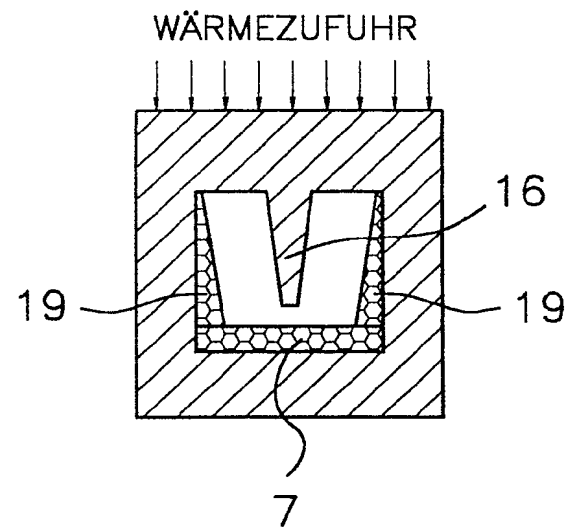


Fig.8

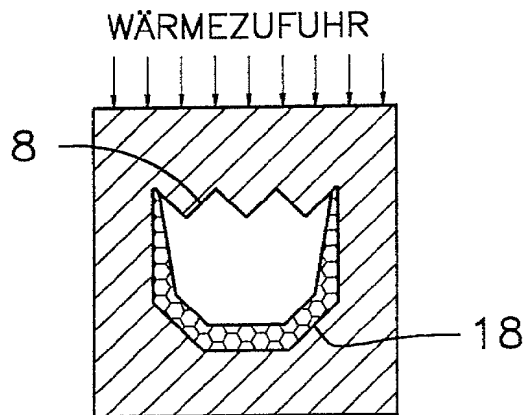


Fig.9

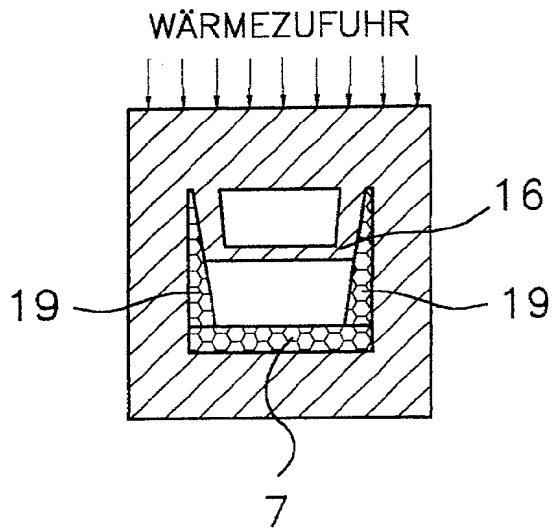


Fig.10

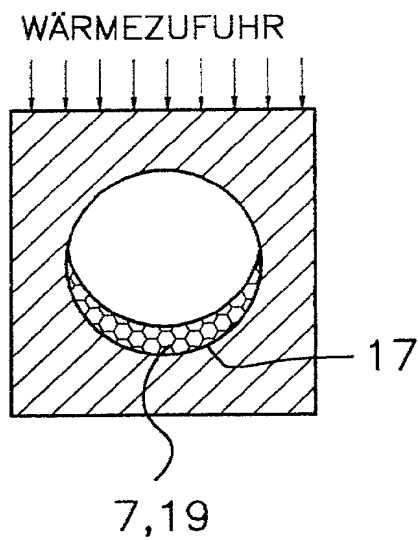


Fig.11

